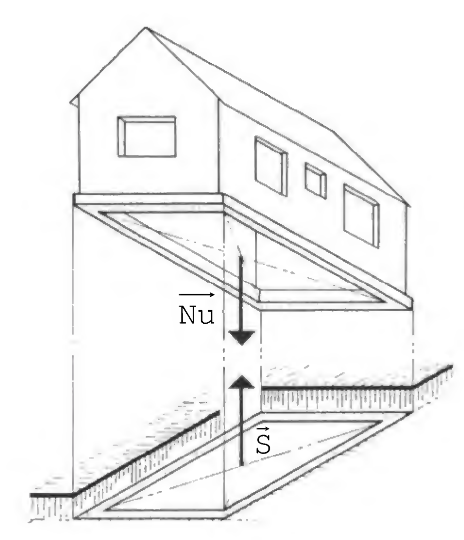


LES FONDATIONS SUPERFICIELLES

1 - DEFINITION ET FONCTIONS

Les fondations d'un ouvrage sont les éléments assurant la transmission des efforts de cette structure sur le sol.

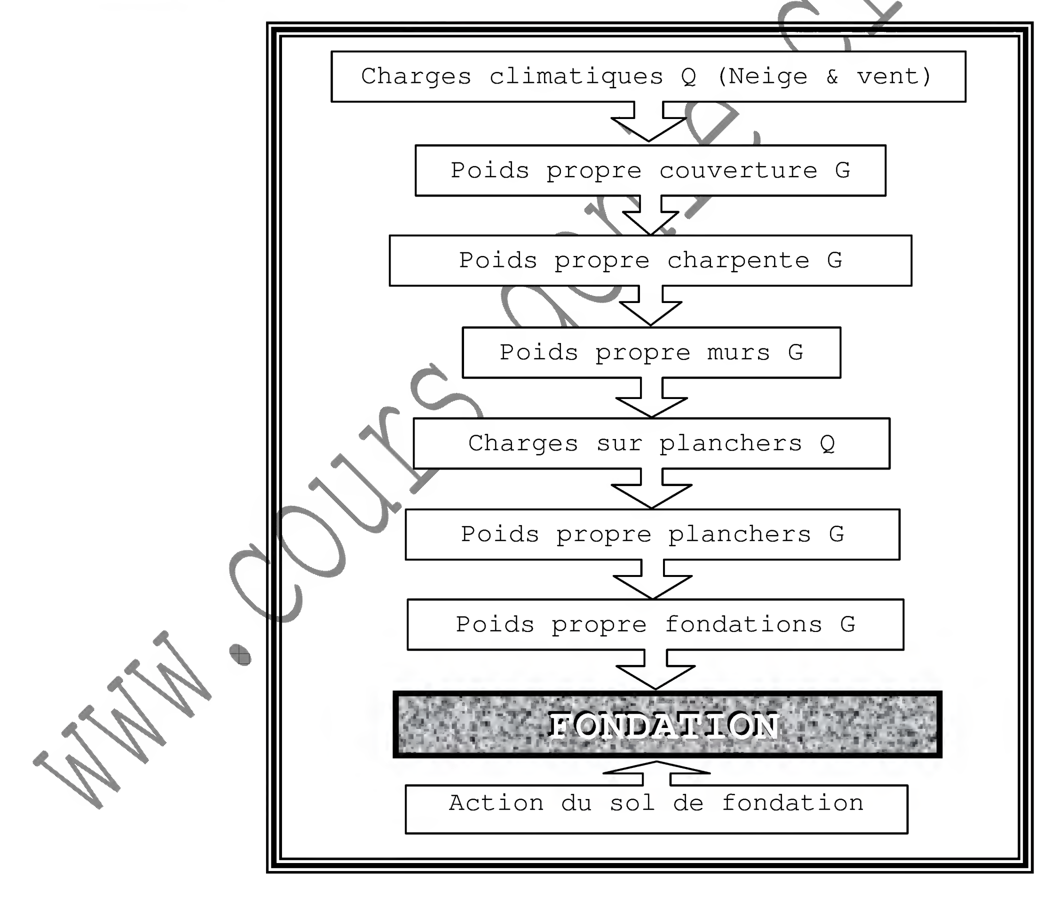


Les fondations reportent les charges permanentes **G** (poids propres) et les charges d'exploitation **Q** à un niveau convenable et les répartissent sur une couche de terrain plus ou moins étendue et de résistance adéquate en assurant la stabilité et la sécurité de la fondation.

La descente de charges, effectuée en bureau d'étude, permet de connaître les actions de la structure sur les fondations :

$$\vec{Nu} = 1,35\ G + 1,5\ Q$$

La mécanique des sols permet de connaître les caractéristiques du sol et, par conséquent, l'action du sol sur les fondations $\vec{S}$.



Les critères influants le choix d'une fondations sont donc :

- La qualité du sol.
- Les charges amenées par la construction.
- Le coût d'exécution.

Construire une maison individuelle amenant peu de charges sur un sol de moyenne qualité peut convenir, la construction d'un immeuble demande un sol de meilleure qualité qu'il faut chercher plus profond (Fondations profondes = chapitre vu en terminale), la profondeur influant beaucoup sur le coût final des fondations, il est nécessaire de faire une étude précise.

2 - RECONNAISSANCE DU SOL

2.1 - SE RENSEIGNER



La première démarche consiste à se renseigner préalablement, les « bons terrains » se font rares car ce sont les premiers qui ont été bâtis par nos ancêtres qui ne disposaient pas de tous les moyens de calculs actuels. Il y a donc lieu de se renseigner afin de savoir si :

- Le terrain n'est pas inondable.
- Le terrain ne se situe pas dans une cuvette, à l'emplacement d'une ancienne décharge publique.
- Il n'y a pas de problèmes de glissements ou de tassements (voir l'état des maisons voisines).



On peut aussi consulter les services techniques de la mairie et les cartes géologiques.

2.2 - RECONNAÎTRE LE SOL



La reconnaissance du sol peut être effectuée à l'aide de 2 types d'essai :

⇨ Essai en laboratoire : prélèvements d'échantillons de sols analysés ensuite en laboratoire.

⇨ Essai sur le terrain "*in situ*" : pénétromètre - pressiomètre.

Ces différents essais de reconnaissance des sols permettent de :

- Déterminer la couche d'assise : sa position (profondeur), sa contrainte admissible, son comportement (tassement).
- De déterminer la position de la nappe phréatique (nappe d'eau).

2.3 - CHOISIR UN TYPE DE FONDATION ADAPTE

En fonction de tous les critères définis précédemment il convient de choisir le mode de fondations le mieux adapté pour limiter les tassements :



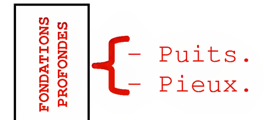
FONDATIONS SUPERFICIELLES

- Rigoles en gros béton.
- Semelles en béton armé.
- Semelles en béton armé rigidifiées par des longrines.
- Radier.

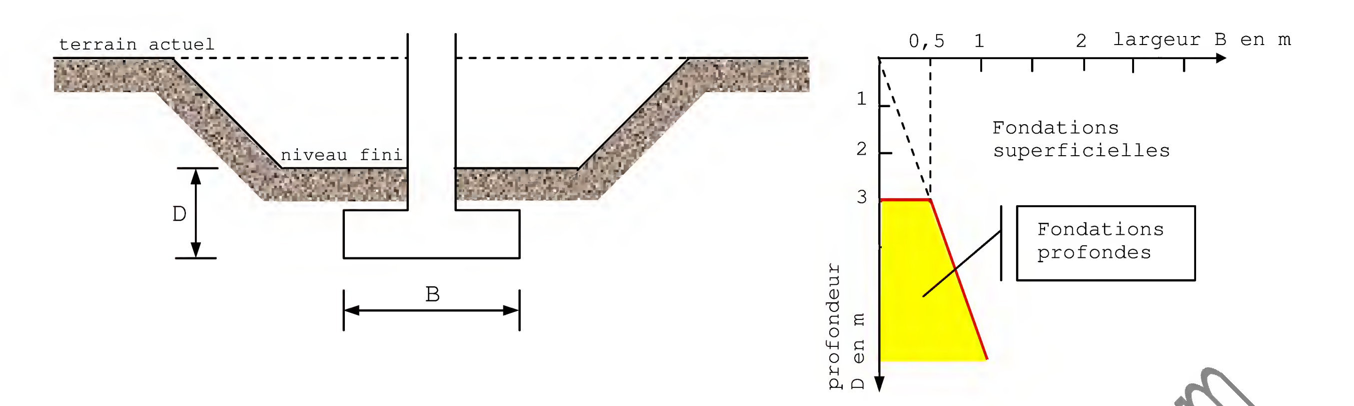


FONDATIONS PROFONDES

- Puits.
- Pieux.



La distinction entre fondations superficielles et profondes se fait selon la valeur du rapport de la hauteur du sol d'assise D sur la largeur de la fondation B.



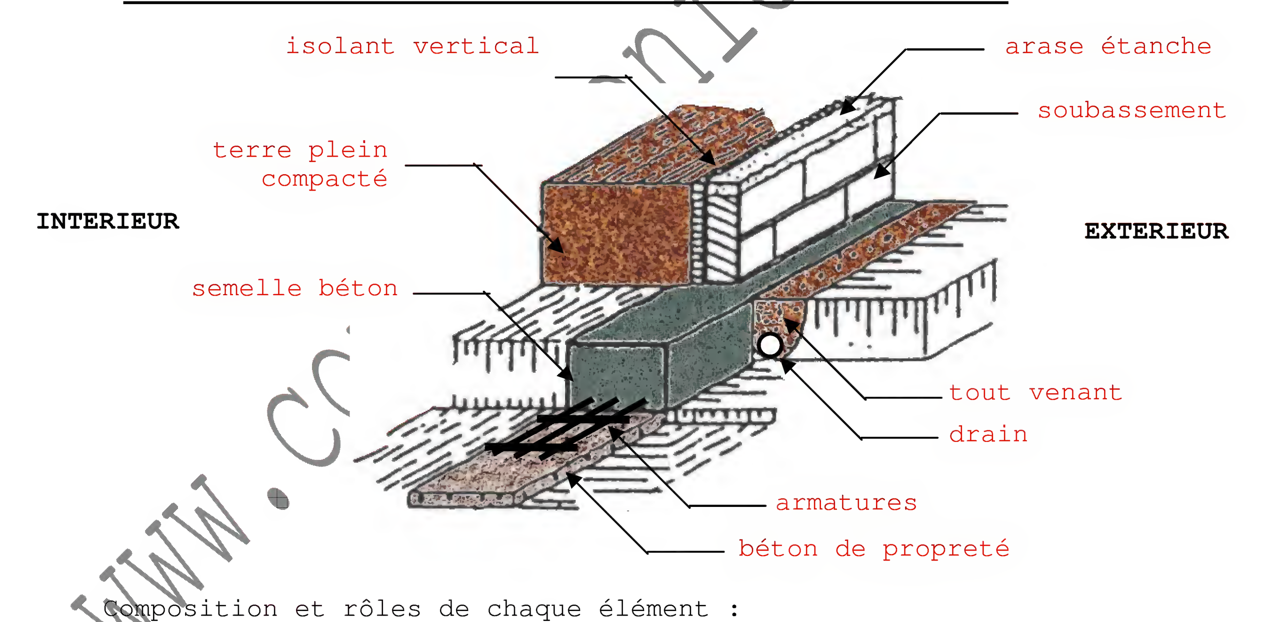
Exemples :

Largeur semelle = 1,20 m Profondeur de fouille = 2,40 m.
Soit D = 2,4 m & B = 1,2 m graphique ⇨ **La fondation est dite superficielle**

Diamètre fondation = Ø 0,90 m Profondeur de fouille = 5,00 m
Soit D = 5 m & B = 0.9 m graphique ⇨ **La fondation est dite profonde**

3 - FONDATIONS SUPERFICIELLES

3.1 - STRUCTURE D'UNE FONDATION SUPERFICIELLE



Composition et rôles de chaque élément :

❍ **Béton de propreté** :
Dosage minimum de 150 kg/m³ de ciment, il évite la souillure de la semelle par le sol lors du bétonnage, permet de positionner les écarteurs d'armatures afin de respecter l'enrobage de celles-ci (4 cm) et d'obtenir une surface plane pour la réalisation de la semelle (voir chapitre 3.3.3).

❍ **Semelle** :
Béton armé dosé entre 300 et 400 kg/m³ de CEM II/A (CPJ), CEM III/C (CLK) ou CEM III/A (CHF). Par sa surface d'appui, elle répartit les charges au sol.

❍ **Armatures :**

Elles se composent soit de barres ou soit de treillis soudé. Elles renforcent le béton qui résiste très peu à la traction (voir chapitre 3.3.4).

❍ **Mur de soubassement :**

Lié à la fondation, il assure la transmission des charges entre les voiles et la semelle.

❍ **Drain et tout venant :**

Un drainage périphérique autour du bâtiment n'est pas une obligation et ne se conçoit qu'en présence d'une nappe phréatique peu profonde. Il se compose d'un drain en béton poreux entouré d'un matériau filtrant, tout venant par exemple (voir chapitre 3.3.6).

❍ **Arase étanche :**

Mortier composé de ciment hydrofuge, évite les remontées d'eau par capillarité dans les murs supérieurs (voir chapitre 3.3.6).

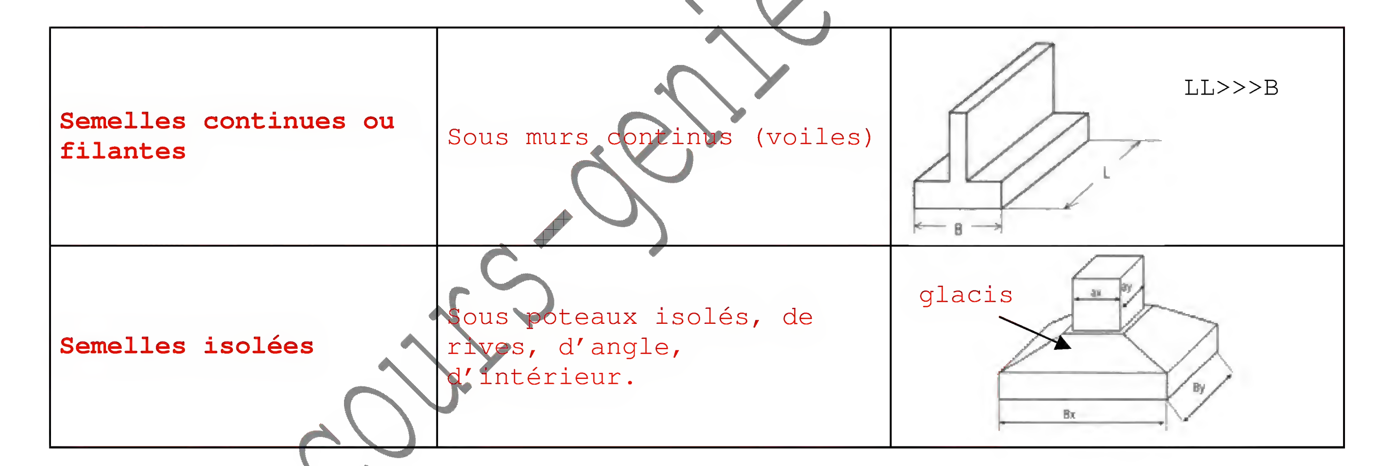
❍ **Isolant vertical :**

Permet d'éviter au sol à l'intérieur du bâtiment de geler et d'éviter les ponts thermique.

❍ **Terre plein compacté :**

Uniquement dans le cas d'un dallage il lui sert d'assise.

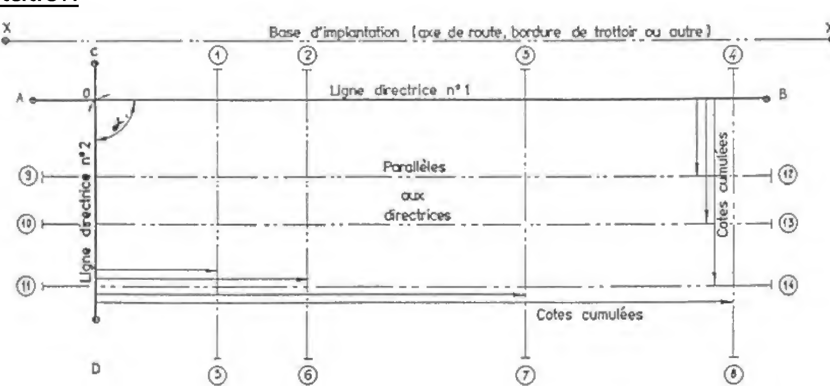
3.2 - DIVERS TYPES DE FONDATIONS SUPERFICIELLES



Semelles continues ou filantes	Sous murs continus (voiles)	LL>>>B
Semelles isolées	Sous poteaux isolés, de rives, d'angle, d'intérieur.	glacis

3.3 - REALISATION DE FONDATIONS SUPERFICIELLES

3.3.1 - Implantation

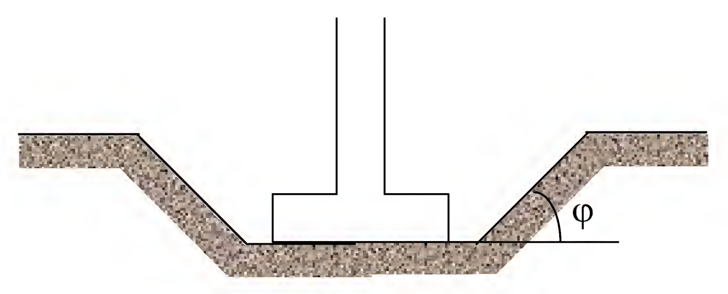


L'ouvrage est implanté à l'aide de 2 lignes directrices à partir d'une base xx'. A, B et C, D constituent des repères principaux, leur intersection en O donne l'origine des mesures à reporter aux axes des fondations et des voiles.

La matérialisation de cette implantation se fait à l'aide de « chaises » sur le terrain.

3.3.2 - Terrassement

- Si le terrain ne présente pas de risques d'éboulements la fondation peut être coulée directement dans la fouille, dans ce cas la largeur de l'excavation sera celle du godet de la pelle, soit au minimum 0,40 m.



- Si le sol est ébouleux ou si la fondation doit être coffrée, la fouille présentera un talus dont l'angle est égal à l'angle de talus naturel du sol φ. Cet angle dépend de la nature du sol , de sa cohésion, de sa granulométrie et de la présence ou non d'eau.

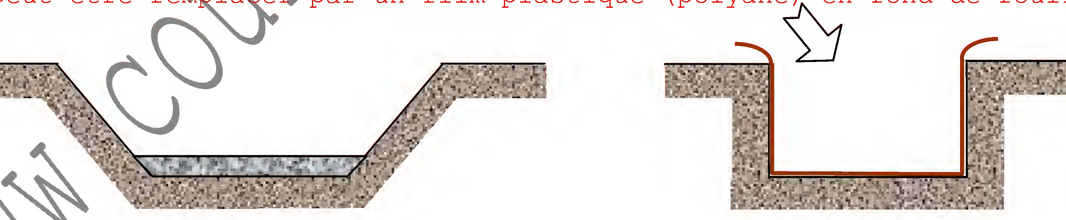
Largeur, hauteur des fouilles et blindage :

	Largeur de la fouille	Hauteur de la fouille	Blindage
Rigole	l ≤ 2,00 m	h ≤ 1,00 m	si h > 1,30 m ou si h/l = 1,30
En tranchée	l ≤ 2,00 m	h > 1,00 m	
En excavation	l > 2,00 m	h < l/2	

3.3.3 - Béton de propreté

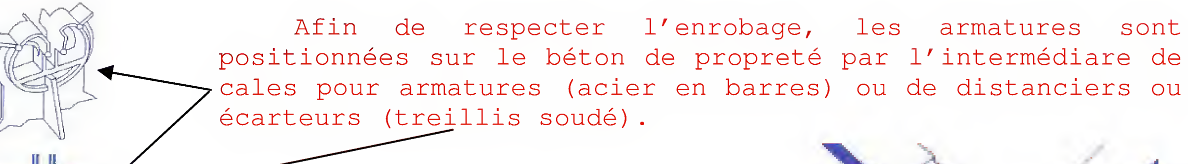
C'est un béton maigre (dosage minimum de 150 kg/m³ de ciment. Son épaisseur est > 4 cm et sa largeur supérieure, en général, à celle de la semelle. Il n'est jamais coffré.

Il peut être remplacer par un film plastique (polyane) en fond de fouille.

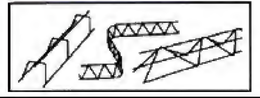


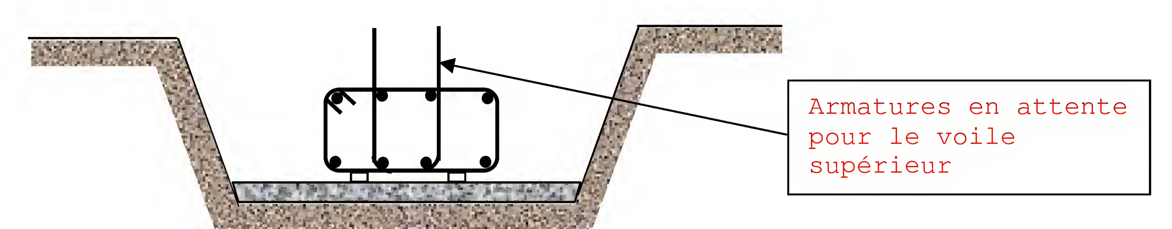
3.3.4 - Mise en place du ferraillage

Afin de respecter l'enrobage, les armatures sont positionnées sur le béton de propreté par l'intermédiare de cales pour armatures (acier en barres) ou de distanciers ou écarteurs (treillis soudé).



Le ferraillage arrive la plupart du temps sur le chantier sous forme de cage d'armatures pré-façonnées en usine.





3.3.5 - Coffrage et bétonnage

La semelle peut être coffrée latéralement ou bien coulée directement dans la fouille, selon ses dimensions et la tenue des terres. Le bétonnage est effectué en 1 seule fois sans reprise de bétonnage.

COFFRAGE et BETONNAGE

MISE en PLACE du FERRAILLAGE et BETONNAGE sans COFFRAGE

EXEMPLES :

semelle filante coffrée

armatures en attente pour poteau d'angle

semelle isolée sans coffrage

semelle filante sans coffrage

3.4 - DISPOSITIONS PARTICULIERES

3.4.1 - Profondeur hors-gel

Le gel agit sur le sol en transformant l'eau incluse dans ce sol en glace, celle-ci occupant un volume plus important que l'eau, cela provoque un

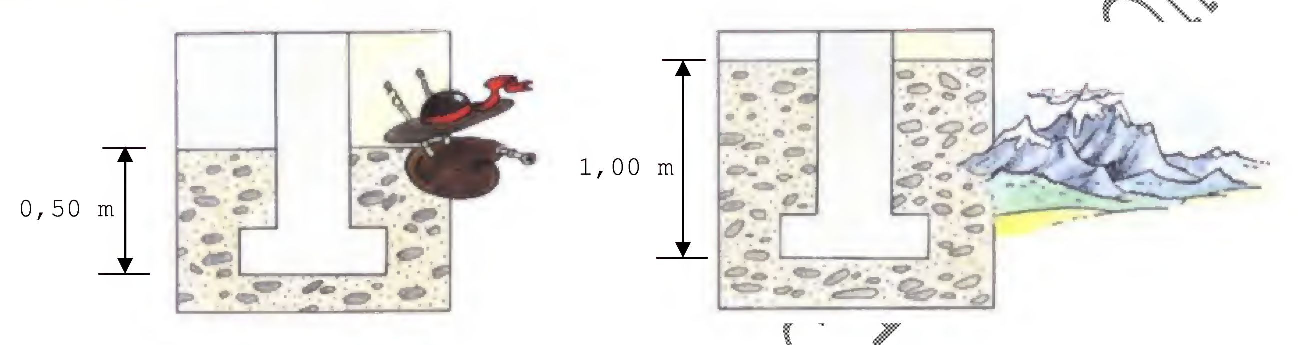


gonflement de la couche superficielle et des fissures dans le gros œuvre.

Lors du dégel des vides vont se créer dans le sol entraînant un tassement du sol et de la fondation. Il est donc nécessaire que le sol d'assise de la fondation soit à une profondeur suffisante pour qu'il ne gèle pas.

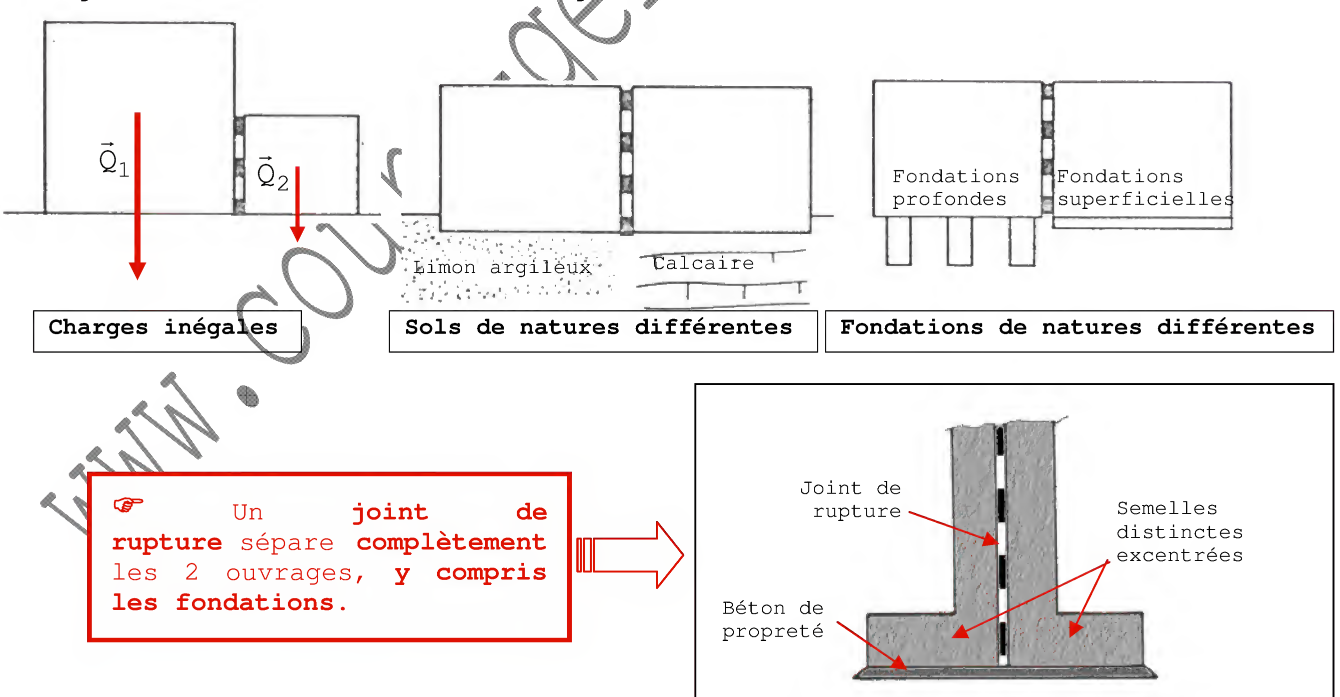
☞ **Conclusion :** c'est le sol d'assise de la fondation que l'on doit mettre hors gel.

Cette profondeur minimale varie suivant les régions et la nature du sol, elle est de l'ordre de 0,50 m sous climat océanique (par exemple en Bretagne) et peut dépasser 1 m en montagne.



3.4.2 - Joint de rupture

Un joint de rupture doit être prévu entre 2 ouvrages voisins, lorsqu'ils subissent des différences importantes de charge, s'appuient sur des sols de natures différentes ou possèdent des fondations de natures différentes (cas d'un ouvrage à construire contre un ouvrage ancien).



☞ Un **joint de rupture** sépare **complètement** les 2 ouvrages, **y compris les fondations.**

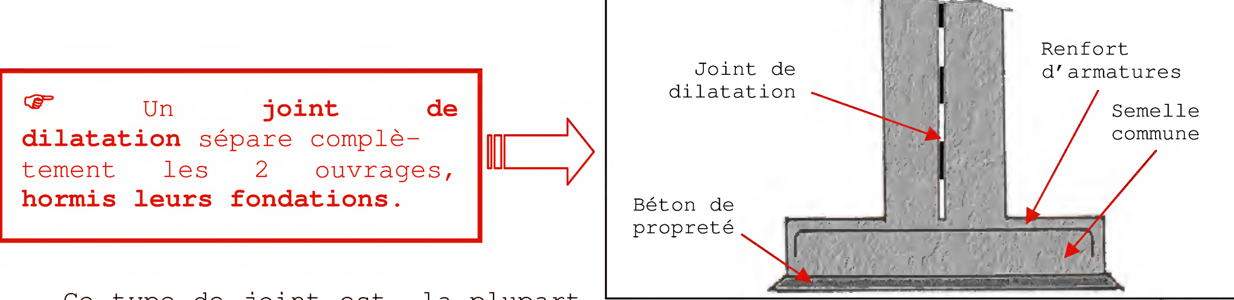
Ce type de joint est, la plupart du temps, réalisé à l'aide de polystyrène.

3.4.3 - Joint de dilatation

Un ouvrage soumis à de grandes différences de température va subir des dilatations d'autant plus importantes que cet ouvrage est long.

En régions tempérées il est donc prévu de disposer des joints de dilatation tous les 30 m.

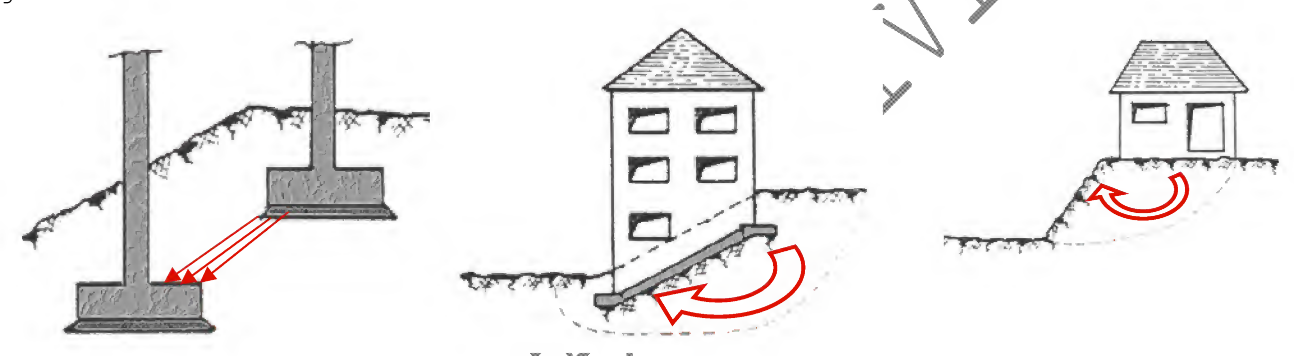
☞ Un **joint de dilatation** sépare complètement les 2 ouvrages, **hormis leurs fondations.**



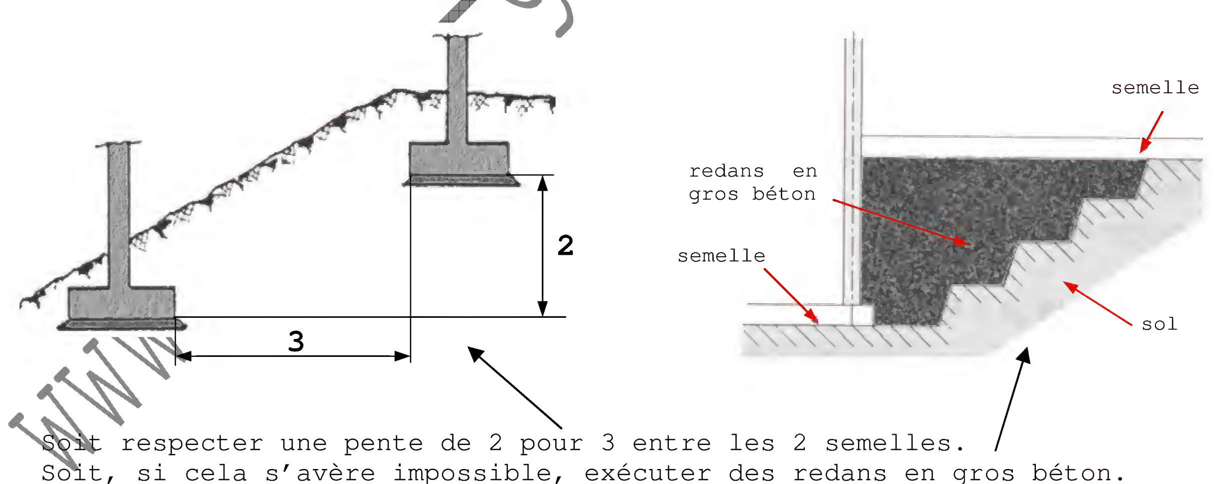
Ce type de joint est, la plupart du temps, réalisé à l'aide de polystyrène.

3.4.4 - Fondations sur sol en pente

Dans ce cas les fondations se trouvent à des niveaux différents et les semelles supérieures peuvent exercer une poussée sur les semelles inférieures qui ne sont pas dimensionnées en conséquence, ou risquent d'amorcer un glissement d'ensemble.

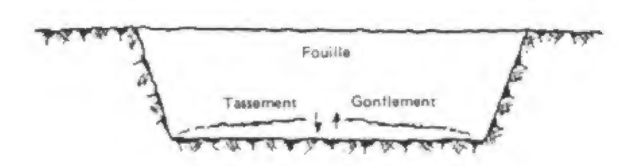


Afin de résoudre ce problème il existe 2 solutions :



Soit respecter une pente de 2 pour 3 entre les 2 semelles.
Soit, si cela s'avère impossible, exécuter des redans en gros béton.

3.4.5 - Fondations sur sol argileux

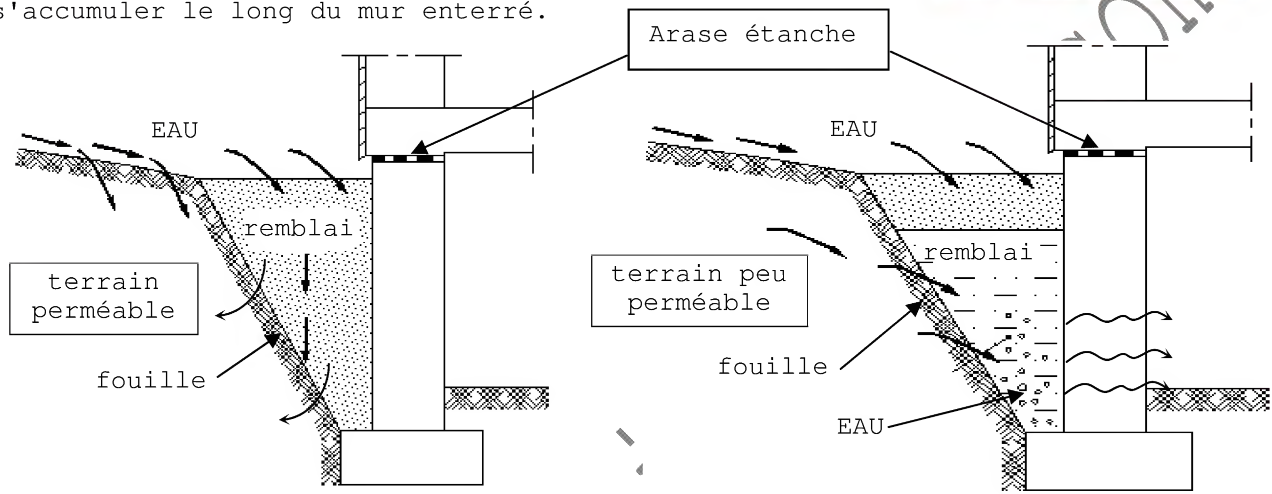


Dans ce cas il peut se produire, après terrassement de la fouille, un gonflement par déchargement du poids des terres excavées ou par augmentation de la teneur en eau du sol. On peut alors soit

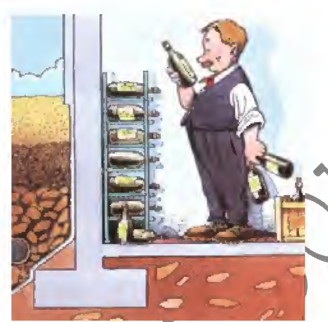
effectuer une purge (ôter le sol argileux pour le remplacer par un meilleur sol), soit traiter le sol en place (à la chaux par exemple) ou soit en tenir compte dans les calculs.

3.4.6 - Protection contre l'humidité

Si le terrain de fondation est perméable (sables, graviers,...) et non immergé, les eaux de ruissellement s'infiltrent rapidement sans soumettre le mur périphérique à une importante humidité permanente ; par contre, si le terrain de fondation est peu perméable (argile, limon...), les eaux d'infiltration peuvent venir s'accumuler le long du mur enterré.



Dans le premier cas il n'y a pas de précaution particulière à prendre, l'arase étanche réalisée entre le mur de soubassement et le plancher du rez-de-chaussée suffit.

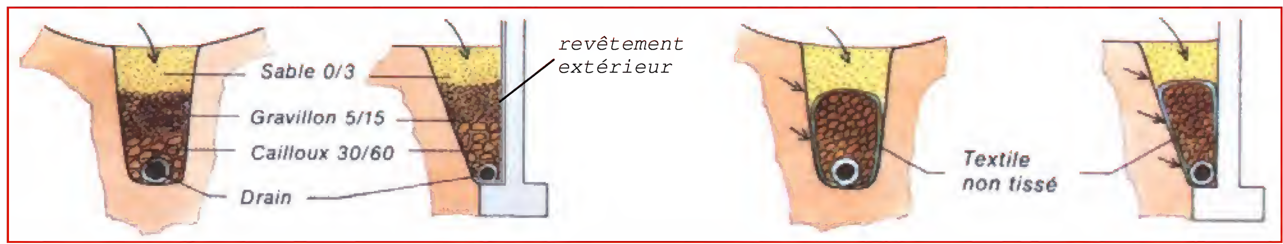


Dans le deuxième cas la réalisation d'un drain périphérique est nécessaire.

Il entoure complétement la construction dans le cas d'un terrain plat ou, profitant de la pente, peut éviter un coté.

Regard
Cas des terrains sensiblement plats
Drains
Collecteur
Drain
Regard
Pente
Drain
Drain
Collecteur éventuel
Cas des terrains en pente

Conception générale :
Un drainage comporte obligatoirement :
- Une tranchée drainante, remplie de matériaux perméables allant de la granulométrie la plus importante en bas (autour du drain) à la plus faible en haut.
- Un drain placé toujours sur la face supérieure de la fondation afin d'éviter les affouillements sous celle-ci.
- Des regards de visite à chaque changement de direction et au point haut.
- Un dispositif d'évacuation des eaux recueillies par les drains.



3.5 - PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT

3.5.1 - Contrainte de calcul du sol

Cette contrainte q (contrainte verticale) est :

❍ Soit déduite de l'expérience acquise sur les réalisations voisines ou sur des sols biens répertoriés suivant :

D.T.U 13-12	
Nature géologique du sol	**q (Mpa)**
Limon de plateaux	0,15 à 0,30
Terre à meulière	0,30 à 0,45
Marne verte, argile	0,07 à 0,45
Alluvions anciennes, sables et graviers	0,60 à 0,90
Sables de Beauchamp	0,75 à 1,50
Craie	0,90 à 1,00
Marne + caillasse	0,75 à 1,50
Calcaire grossier	1,80 à 4,50

La carte géologique locale	
Nature du sol	**q (Mpa)**
Roches peu fissurées saines non désagrégées de stratification favorable	0,75 à 4,5
Terrain non cohérent à bonne compacité	0,35 à 0,75
Terrain non cohérent à moyenne compacité	0,20 à 0,40
Argile	0,03 à 0,30

❍ Soit déterminée à partir des essais mécaniques des sols qui permettent de définir la contrainte ultime **qu**.

La contrainte de calcul **q** est la plus petite des deux valeurs : **qu/2** ou la contrainte n'entraînant pas de tassements différentiels trop importants dans la structure. Dans la majorité des cas, on pourra prendre :

q = qu/2

3.5.2 - Dimensionnement de la fondation

Le calcul va nous permettre de connaître les dimensions de la fondation en largeur (longueur dans le cas d'une semelle isolée) et hauteur. puis de déterminer les armatures à positionner dans cette fondation.

Dans un premier temps nous devons disposer de la charge qui arrive sur cette fondation. C'est la charge Nu donnée par la descente de charges (voir page 2) :

Nu = 1,35 G + 1,5 Q + (1,35 * poids propre semelle)

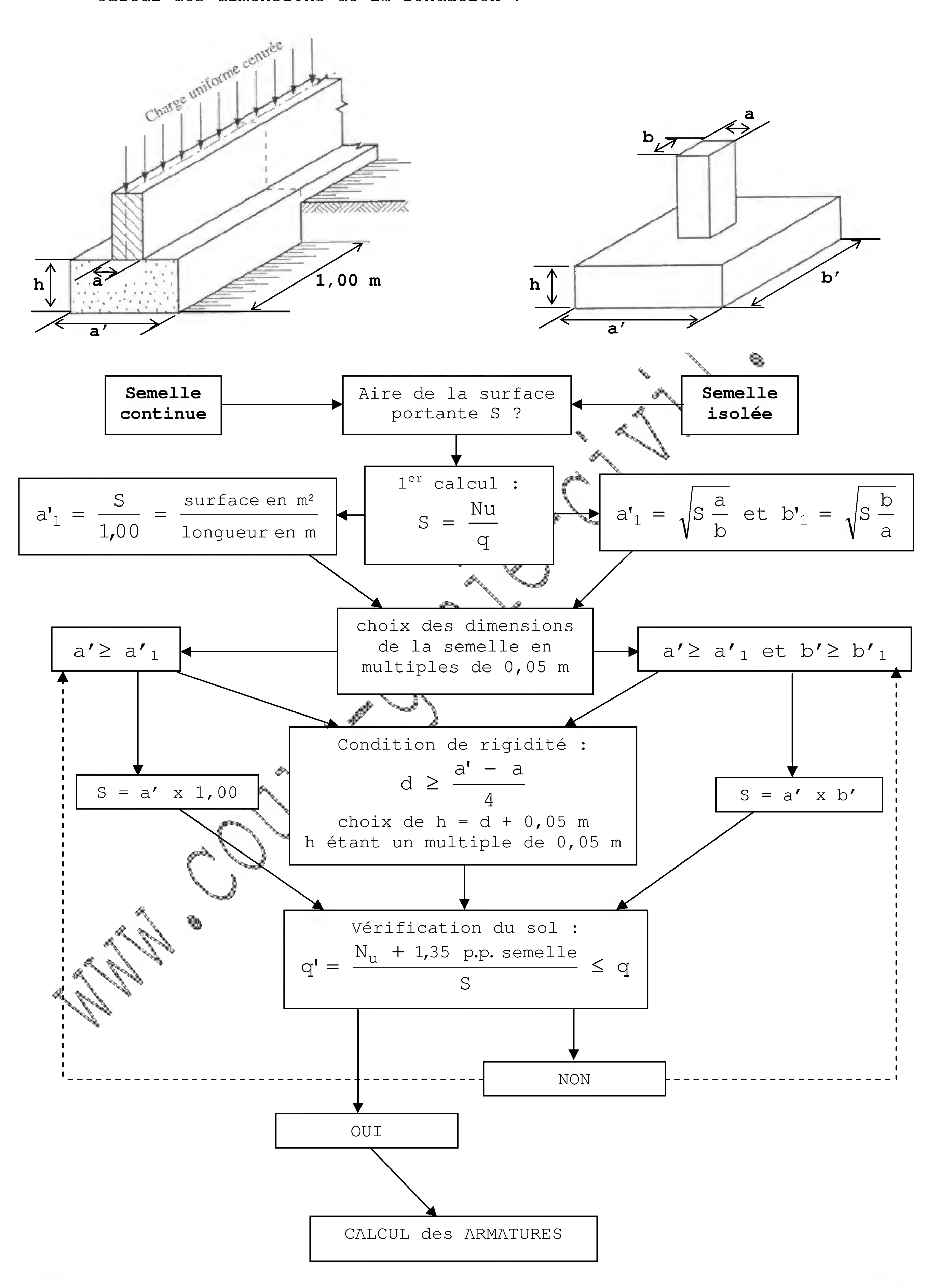
Les coefficients 1,35 et 1,5 sont des coefficients de sécurité donnés par la norme, ils servent à compenser les incertitudes sur le calcul des charges :

- 1,35 sur les charges permanentes, en général les poids propres qui sont, la plupart du temps, assez bien connus.

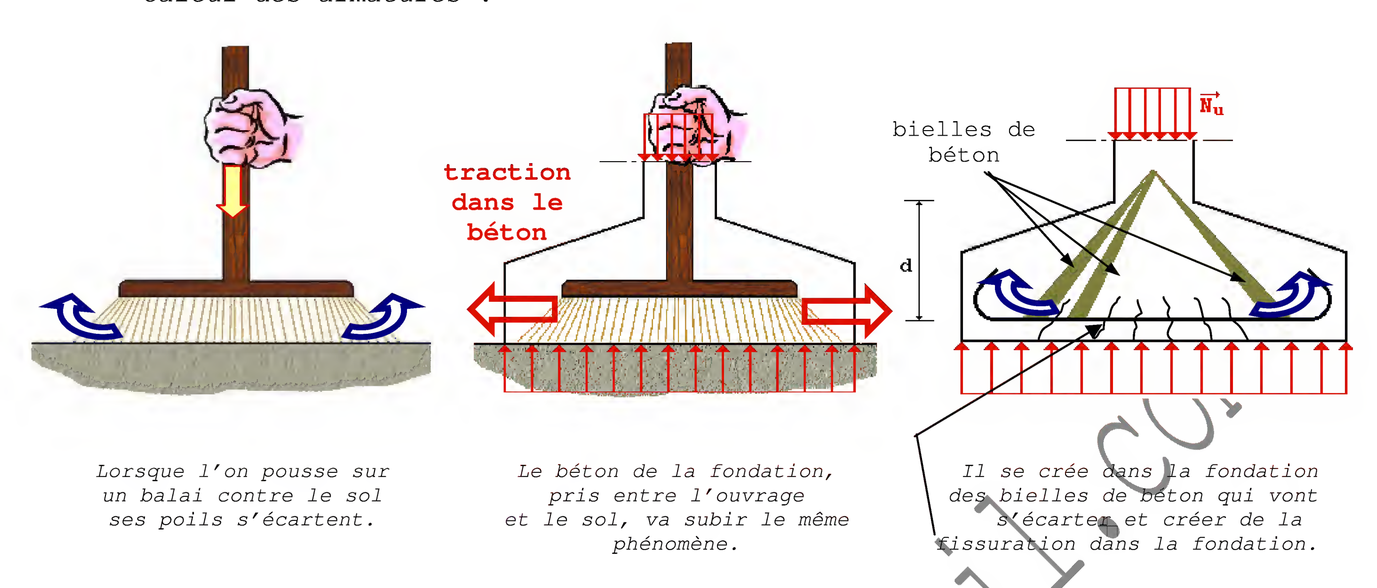
- 1,5 soit un coefficient plus important sur les charges d'exploitation ou charges liées à l'utilisation de l'ouvrage, qui sont moins bien connues et peuvent varier souvent et de manière très significative.

Quand au poids propre de la semelle c'est une inconnue au départ, mais il devra être pris en compte par la suite dans la vérification du sol.

- *Calcul des dimensions de la fondation :*



- *Calcul des armatures :*

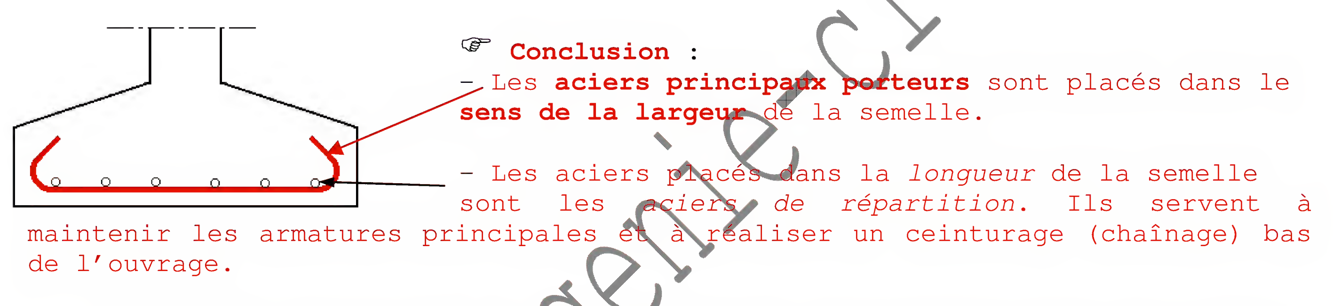


Lorsque l'on pousse sur un balai contre le sol ses poils s'écartent.

Le béton de la fondation, pris entre l'ouvrage et le sol, va subir le même phénomène.

Il se crée dans la fondation des bielles de béton qui vont s'écarter et créer de la fissuration dans la fondation.

Il est donc nécessaire de placer des aciers afin que les bielles de béton ne s'écartent pas et, ainsi, éviter la fissuration du béton de la fondation.

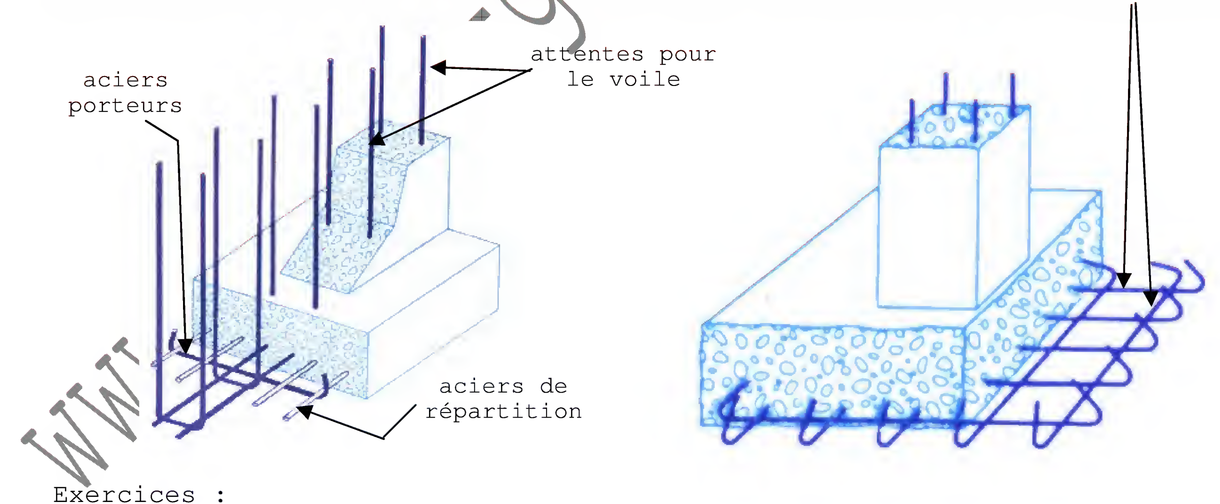


☞ **Conclusion :**

- Les **aciers principaux porteurs** sont placés dans le **sens de la largeur** de la semelle.

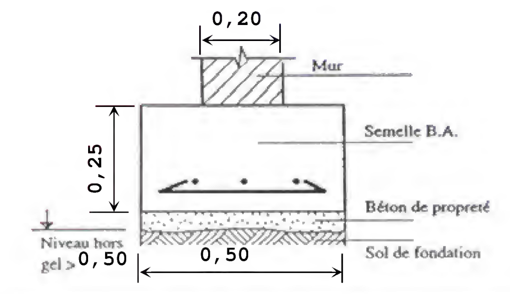
- Les aciers placés dans la *longueur* de la semelle sont les *aciers de répartition*. Ils servent à maintenir les armatures principales et à réaliser un ceinturage (chaînage) bas de l'ouvrage.

Dans le cas d'une semelle isolée les aciers sont porteurs dans les 2 sens.



Exercices :

❖ Soit à vérifier la semelle filante sous mur suivante :



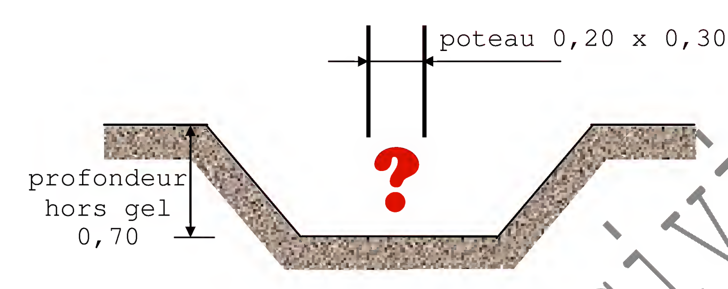
poids volumique du béton armé : 25 kN/m^3
poids volumique du béton de propreté : 22 kN/m^3
poids volumique du sol : 18 kN/m^3
charge permanente : G = 0,3 MN/m
charge d'exploitation : Q = 0,05 MN/m
contrainte ultime du sol : qu = 2 Mpa
épaisseur du béton de propreté : 4 cm

Poids propre de la fondation : 0,25 x 0,5 x 1 x 25 = 3,125 kN/m
Poids propre du béton de propreté : 0,04 x 0,5 x 1 x 22 = 0,44 kN/m
Poids propre de la terre sur la fondation :
hauteur = 0,5 – 0,04 – 0,25 = 0,21 m
largeur = 0,5 – 0,2 = 0,3 m
0,21 x 0,3 x 1 x 18 = 1,134 kN/m
4,7 kN/m

Soit : Nu = 1,35 x (0,3 + 0,0047) + 1,5 x 0,05 = 0,4863 MN/m

$$\frac{0{,}4863}{0{,}5 \times 1} \leq \frac{qu}{2} = \frac{2}{2}\ ?$$ soit 0,973 MPa ≤ 1 MPa OK

❖ Soit à calculer les dimensions de la semelle isolée suivante :



masse volumique du béton armé : 25 kN/m³
masse volumique du béton de propreté : 22 kN/m³
masse volumique du sol : 18 kN/m³
charge permanente : G = 0,167 MN
charge d'exploitation : Q = 0,383 MN
contrainte ultime du sol : qu = 0,9 Mpa
épaisseur du béton de propreté : 4 cm

Nu = 1,35 x 0,167 + 1,5 x 0,383 = 0,8 MN

$$q = \frac{qu}{2} = \frac{0{,}9}{2} = 0{,}45 \text{ MPa} \Rightarrow S = \frac{0{,}8}{0{,}45} = 1{,}78 \text{ m}^2$$

$$a_1' = \sqrt{1{,}78\,\frac{0{,}3}{0{,}2}} = 1{,}63 \text{ m} \quad \text{et} \quad b_1' = \sqrt{1{,}78\,\frac{0{,}2}{0{,}3}} = 1{,}09 \text{ m}$$

choix : a'_1 = 1,65 m et b'_1 = 1,10 m ⇒ $d \geq \frac{1{,}65 - 0{,}3}{4} = 0{,}34$ m

choix : d = 0,35 m ⇒ h = 0,35 + 0,05 = 0,40 m

Poids propre de la fondation : 1,65 x 1,1 x 0,4 x 25 = 18,15 kN
Poids propre du béton de propreté : 1,65 x 1,1 x 0,04 x 22 = 1,60 kN
Poids propre de la terre sur la fondation :
(1,65 x 1,1 – 0,3 x 0,2) x (0,7 – 0,04 – 0,4) x 18 = 8,21 kN
28 kN

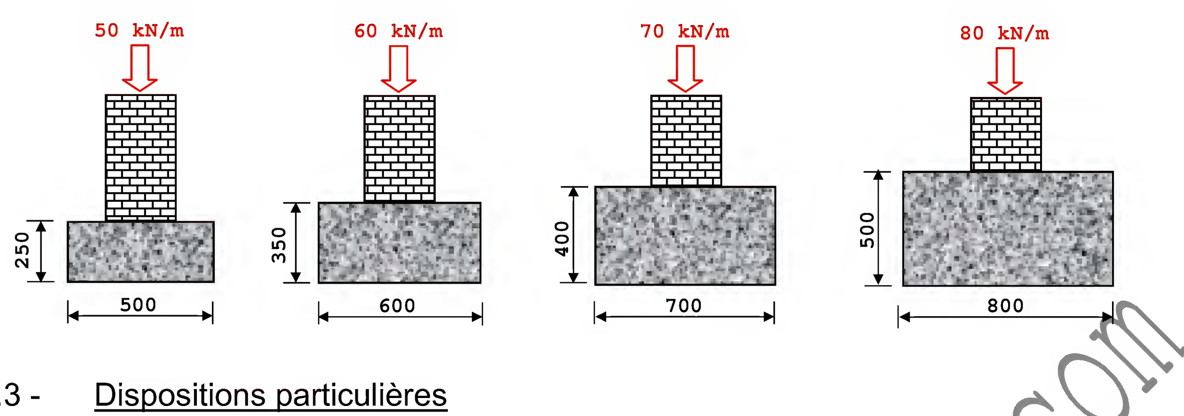
Nu = [1,35 x (167 + 28) + 1,5 x 383] x 10^{-3} = 0,838 MN

$$\frac{0{,}838}{1{,}65 \times 1{,}1} \leq 0{,}45 \text{ MPa}\ ?$$ soit 0,46 MPa ≤ 0,45 MPa NON VERIFIE

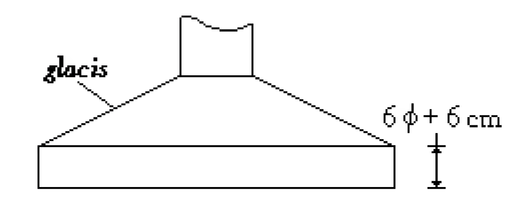
Il est donc nécessaire de recommencer avec :
a'_1 = 1,65 + 0,05 = 1,70 m
b'_1 = 1,10 + 0,05 = 1,15 m

Cette fois la contrainte du sol est respectée.

Quelques valeurs pour une contrainte du sol voisine de 0,1 MPa :



3.5.3 - Dispositions particulières



- GLACIS

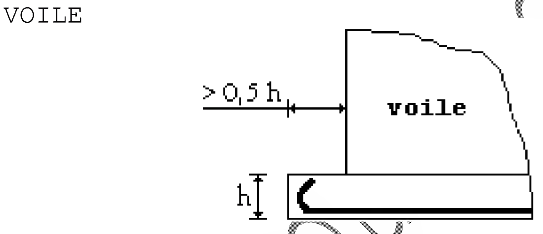
Dans le cas de fondations très larges (a' à partir de 1,50 m ou 2,00 m), on peut réaliser un glacis pour économiser du béton mais sa mise en œuvre est plus difficile. La hauteur de la semelle aux extrémités est au moins égale à **6 Ø + 6 cm**, **Ø** étant le diamètre des armatures en cm.

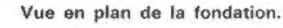
- RENFORT D'ARMATURES SOUS UNE OUVERTURE

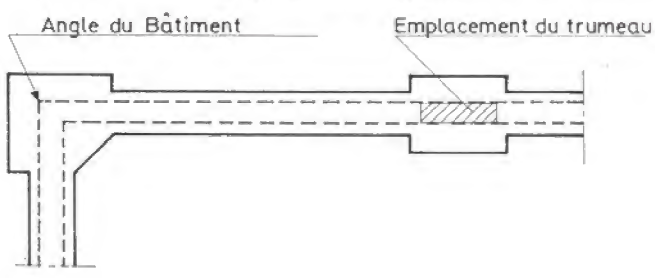
Un semelle filante est sollicitée comme une poutre au droit des ouvertures dans le voile (cas d'une baie), il s'avère donc nécessaire de positionner une armature de renfort sous cette ouverture.

ouverture
renfort d'armature
semelle
voile
> h

- LARGEUR DE LA FONDATION EN ABOUT DE VOILE







- RENFORCEMENT DES FONDATIONS

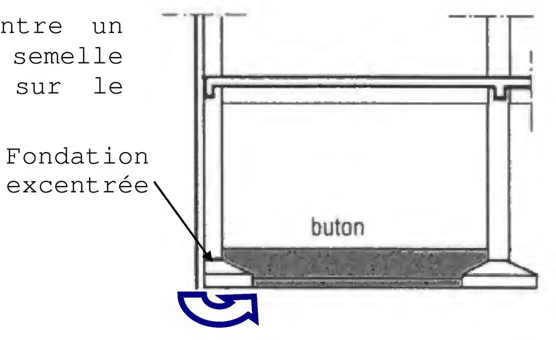
Au droit des angles de l'ouvrage et des trumeaux les plus chargés, on élargit les fondations afin qu'elles résistent aux efforts importants résultants.

- SEMELLE EXCENTREE

Dans le cas de bâtiment construit contre un bâtiment existant, on ne peut pas créer de semelle symétrique car il est interdit d'empiéter sur le terrain voisin.

Cette fondation risque donc de pivoter si on ne prend aucune précaution, d'où la mise en place d'un buton, bloquant cette rotation contre la semelle voisine.

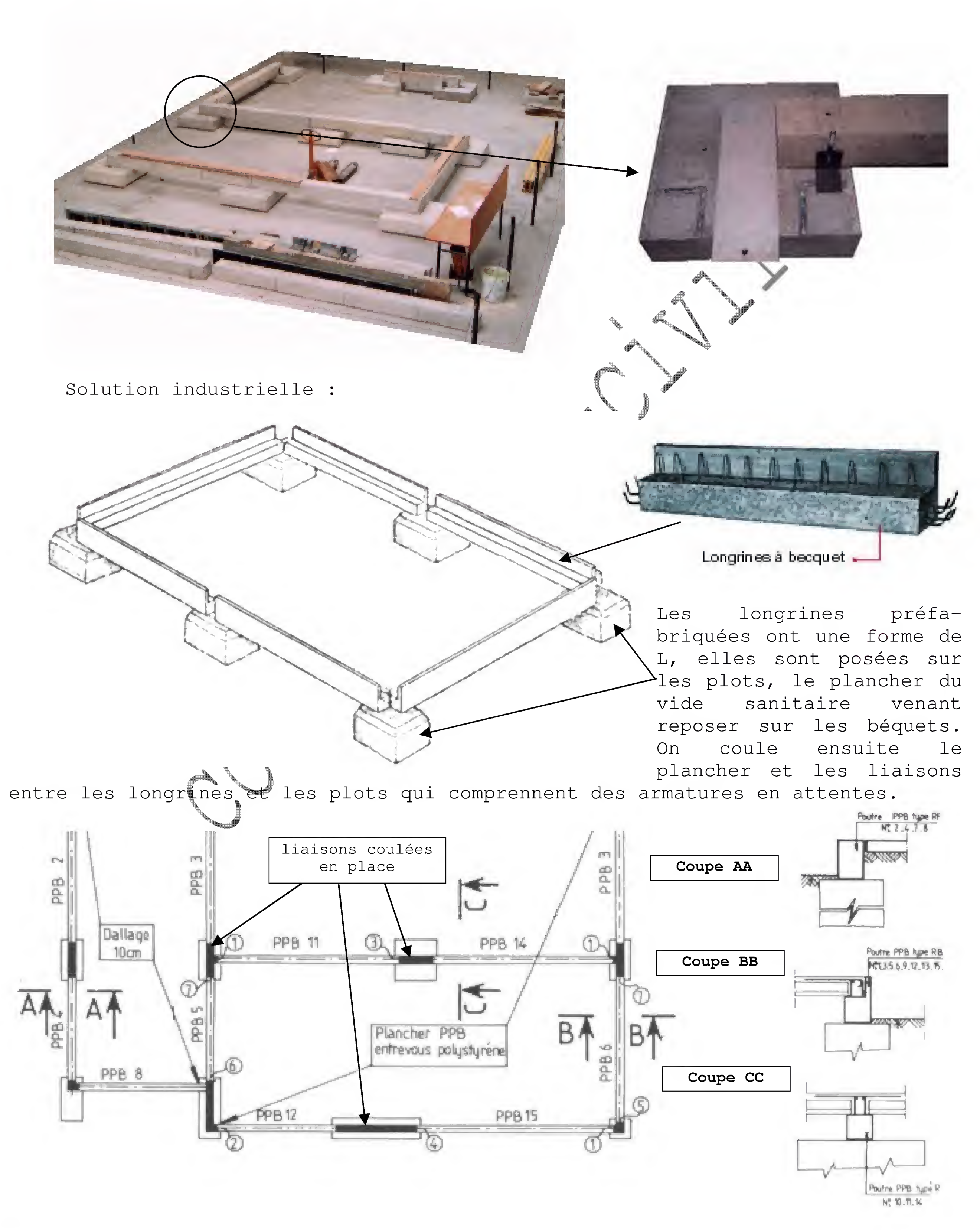
Fondation excentrée



3.6 - SOLUTION PLOTS & LONGRINES

Dans cette solution les voiles reposent sur des poutres préfabriquées appelées longrines, qui reposent elles mêmes sur le sol par l'intermédiaire de plots préfabriqués en béton armé.

Exemple : la maison à ossature bois :



Solution industrielle :

Les longrines préfabriquées ont une forme de L, elles sont posées sur les plots, le plancher du vide sanitaire venant reposer sur les béquets. On coule ensuite le plancher et les liaisons entre les longrines et les plots qui comprennent des armatures en attentes.

3.7 - LES RADIERS

Un radier est une dalle intéressant la totalité de l'emprise au sol de la construction. Le radier se comporte comme un plancher renversé.

Il est utilisé :

⇨ Quand la contrainte admissible du sol d'assise est faible, la surface de semelles obtenue est supérieure à la moitié de la surface au sol du bâtiment.

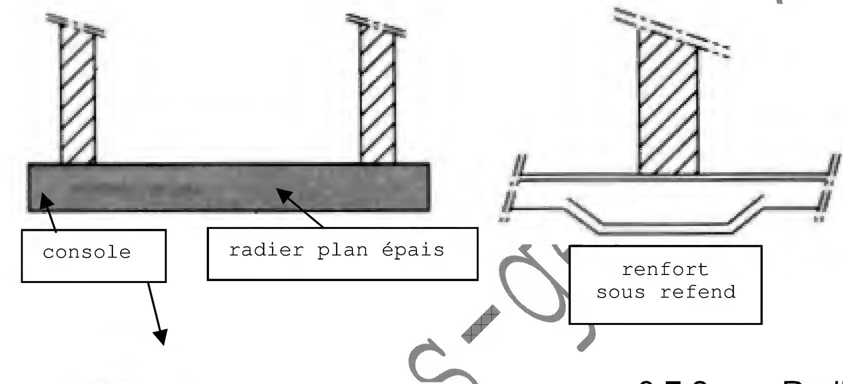
⇨ Quand le sol n'est pas homogène et risque de provoquer des tassements différentiels.

⇨ Le radier devient obligatoire lorsque le dernier niveau du sous-sol se situe en dessous du niveau des plus hautes eaux. Si ce niveau ne peut être inondé (local d'archives), il faut le rendre étanche : on réalise un cuvelage.

Le cuvelage étanche étant soumis aux sous-pressions (poussée d'Archimède), on peut ancrer le radier à une sous-couche stable par la mise en place de tirants d'ancrage scellés dans le sol.

Si le dernier niveau peut être provisoirement neutralisé (parkings), on peut prévoir de l'inonder par la mise en place d'ouverture disposée à une hauteur satisfaisante, afin d'éviter que le radier soit soumis aux sous-pressions exercées par la nappe.

3.7.1 - Radier plan épais

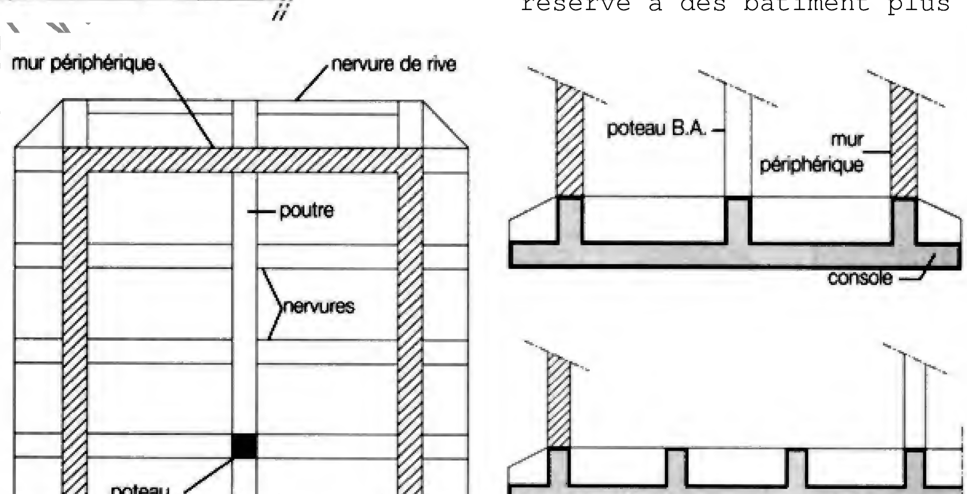


C'est une dalle d'épaisseur constante < 0,30 m, coffrée sur son pourtour, fortement armée, mais réservée à de petits bâtiments vu l'importance du béton qui surcharge la structure.

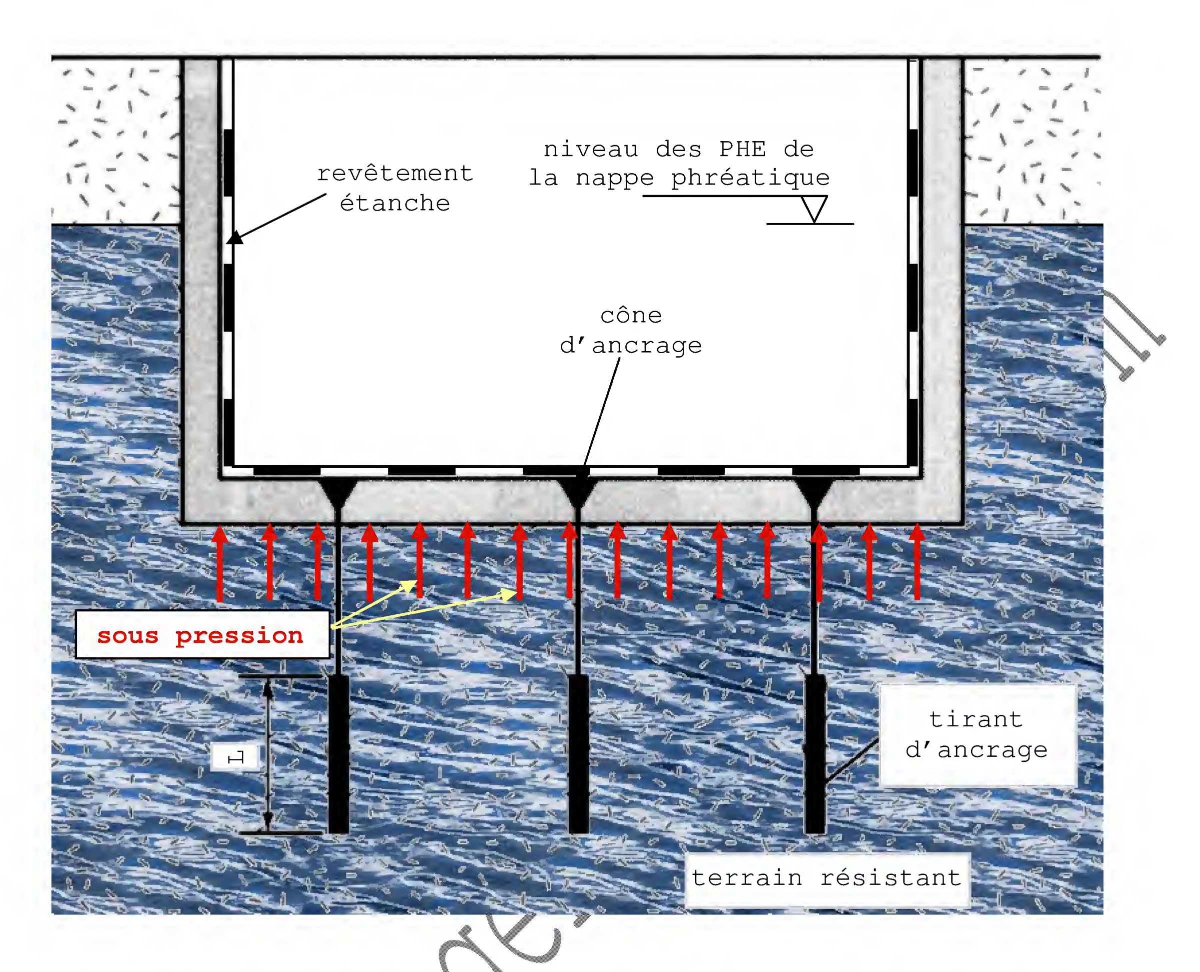
chapeaux en console
aciers principaux
aciers de répartition

3.7.2 - Radier plan nervuré

C'est une dalle mince renforcée par des nervures et des poutres espacées de 2,50 à 3,50 m, son coffrage et son ferraillage sont compliqués et son coût est important, mais sa faible masse par rapport au précédent le réserve à des bâtiment plus importants.



3.7.3 - Cuvelage étanche



Lorsque l'on réalise un cuvelage étanche, l'ouvrage se comporte comme un bateau et subit la poussée d'Archimède, celle-ci est d'autant plus forte que le niveau de la nappe phréatique est haut. Le calcul se fait donc en prenant en compte le cas le plus défavorable, soit le niveau des Plus Hautes Eaux (PHE).

Si le poids propre de l'ouvrage ne peut pas compenser cette poussée, en prenant un coefficient de sécurité, il est alors nécessaire de mettre en place des tirants d'ancrage afin de sceller l'ouvrage dans une couche de terrain résistant. La longueur L dépend des caractéristiques de cette couche et de la valeur de la poussée.

